

Sensores para la medida de rendimiento y calidad de la uva en vendimiadoras

E.M. Baguena¹⁾, P. Barreiro¹⁾, C. Valero¹⁾

¹⁾ Laboratorio de Propiedades Físicas y Tecnologías Avanzadas en Agroalimentación, ETSI Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, Avda. Complutense, s/n. Madrid, España, eva.baguena@upm.es

Resumen (Abstract)

Este trabajo recoge los resultados de un proyecto I+D realizado entre la universidad y una bodega. El estudio se ha llevado a cabo en la región del Alt Penedès, en Barcelona, durante las campañas de vendimia 2005, 2006, 2007 y 2008 (en 3, 22, 69 y 86 parcelas respectivamente). Los sensores fueron montados en una vendimiadora New Holland SB55, empleándose en todas las campañas: dos células de carga y una antena de posicionamiento global (DGPS). En la campaña 2007 se añadieron un refractómetro y una Pt100, y en la campaña 2008 se incorporó además, un sensor de temperatura de infrarrojos de no contacto y un inclinómetro de alta precisión. En las tres primeras campañas, el peso fue calculado como el caudal másico instantáneo (kg/s) por medio de una regresión lineal de la señal peso-tiempo. Al comparar este peso con los datos de peso de la bodega, se obtuvo un error aleatorio de 0,9883 (error del 1,17%). Sin embargo, en la campaña 2008, el peso fue calculado teniendo en cuenta el peso total de cada descarga corregido con sus correspondientes taras. De esta forma se obtuvo una R^2 de 0,9985 (error del 0,15%), entre los pesos calculados y los obtenidos en bodega.

This paper summarised the results of a joint R+D project between university and industry. The study was developed at the Alt Penedès region, in Barcelona, during the 2005, 2006, 2007 and 2008 (on 3, 22, 69, 86 fields respectively). For all seasons the quality sensors set-up mounted on a New Holland SB55 grape harvester consisted of: two load cells and a DGPS antenna. In 2007 vintage one refractometer and an ambient temperature probe were mounted too, and along 2008 a non contact infrared temperature sensor and a high precision inclinometer were installed. During 2005, 2006 and 2007 vintages, the weight was computed as the instantaneous mass flow (kg/s) by means of linear regression of the weight-time signal. When this weight was compared with winery weight data, a random error of 0.9883 (1.17%) was found. However, in 2008 vintage the weight was computed taking into account auto tares of hoppers after each unloading, leading to R^2 of 0.9985 (0.15%) between observed and estimated weight.

Palabras Clave (Keywords)

Sensores (sensors), rendimiento (yield), vendimiadora (grape harvester)

1. Introducción. Objetivos

La variabilidad espacial en el rendimiento y calidad de la uva viene determinada tanto por factores extrínsecos (riego, fertilización o manejo del propio cultivo), como intrínsecos (clima o suelo, entre otros) (Hall et al., 2002).

En la mayoría de los casos, el manejo vitícola es espacialmente uniforme y no considera la heterogeneidad de los factores que inciden en la producción.

La aplicación de las prácticas de agricultura de precisión (Pierce et al., 1999) en viticultura es relativamente reciente, sin embargo, se han conseguido desarrollar tecnologías aplicadas en otros cultivos como los monitores de rendimiento, que cada vez son más utilizados en la toma de decisiones en el manejo de los cultivos, debido a la variabilidad espacial y temporal que presentan las parcelas (Hall et al., 2003, Bramley et al., 2004, Arno et al., 2005).

Debido a la ausencia de sensores de calidad en tiempo real para viñedos, se ha optado por caminos alternativos que lleven a una mejor calidad de la uva a su llegada a la bodega. Así, se han realizado distintos estudios (Sethuramasamyraja et al., 2007, Baguena et al., 2009), en los que se han utilizado sistemas de posicionamiento global (GPS), sistemas de información geográfica (SIG) y distintos tipos de sensores, que han permitido identificar “zonas de calidad” en los viñedos. Con todo ello, se ha visto que se podría llegar a tener un control de las vendimiadoras y de ese modo, poder separar la uva en función de su calidad (Sethuramasamyraja et al., 2007).

Este trabajo presenta los resultados del proyecto de colaboración entre la Universidad Politécnica de Madrid y Bodegas Miguel Torres, S.A. El objetivo principal de este trabajo ha sido desarrollar un sistema para vendimiadoras que permita recoger la información y los datos relacionados con la producción de las parcelas, así como su correspondiente calidad, con el fin de mejorar el manejo de los viñedos. Durante las campañas 2006, 2007 y 2008 se recogieron y analizaron datos de diferentes parcelas. Estos datos permitieron la realización de mapas tanto de rendimiento como de velocidad de la vendimiadora.

2. *Materiales y métodos*

Para la toma de datos en campo se utilizó una máquina vendimiadora New Holland SB55 equipada con los siguientes dispositivos durante las tres campañas: un DGPS (para la georreferenciación de los datos), un data logger (para registrar las medidas de los diferentes sensores), dos células de carga con su correspondiente electrónica, un refractómetro (para la medida del contenido en sólidos solubles, SSC) y una Pt100 (para medir la temperatura ambiente). Además, en la campaña 2008 se instaló también un sensor de temperatura de infrarrojos de no contacto (para medir la temperatura de la uva) así como un inclinómetro de alta precisión (para medir todos los ángulos de inclinación de la máquina: longitudinal, transversal y cabeceo).

En la campaña 2006 el mosto para la medida de SSC era tomado del fondo de la tolva, lo que dio lugar a muchos problemas debido a la entrada de pepitas, bayas, etc. Por ello, en 2007 y 2008, para que el mosto pudiese llegar al refractómetro, lo que se hizo fue lo siguiente: se instaló un tornillo sinfín (accionado por un motor DC) en la tolva izquierda, justo dónde caen las bayas de uva, los granos iban entrando en el sinfín dónde se estrujaban para sacar el mosto, que era absorbido por una bomba peristáltica y enviado al refractómetro, dónde se determinaba el contenido en sólidos solubles (SSC, Brix), posteriormente a través de una goma de salida del refractómetro, el mosto caía en la tolva derecha (evitando así, la recirculación de líquido).

El número de datos recogidos fue incrementando a lo largo de las campañas, así en la vendimia de 2006 se obtuvieron datos de 22 parcelas, en la de 2007 de 69 (Baguena et al, 2009) y en la de 2008 de 84 parcelas. Cada una de las campañas duró aproximadamente 6 semanas, comprendidas entre finales de agosto y principios de octubre.

El método utilizado para el análisis de los datos fue el siguiente: 1. Registro de datos del GPS, del data logger y del inclinómetro, éste último únicamente en la campaña 2008, con una frecuencia de 1Hz; 2. Descarga inalámbrica de los datos a un PC en el borde de la parcela en 2006 y 2007, mientras en 2008 la descarga se hacía directamente en un ordenador táctil situado en la cabina de la máquina; 3. Unificación automatizada de datos en un solo fichero; 4. Identificación automática de líneas según ángulos de trayectoria, determinación de la velocidad de avance de la máquina, cálculo de tiempos de trabajo, ajuste del caudal másico por línea e instantáneo mediante ajuste lineal en el registro temporal de las células de carga (de él se deriva el rendimiento lineal (kg/m) y la cantidad total recogida en kg/descarga), determinación de la moda en el contenido en sólidos solubles, determinación de las temperaturas medias tanto ambiente como de la uva durante la cosecha; 5. Transmisión de estos datos vía GPRS a la bodega; 6. Comparación de los datos transmitidos con los talones en bodega.

2.1. Procesado de los datos

En las campañas 2006 y 2007 el procesado de los datos se hacía de forma manual en un ordenador portátil y con una única sesión de Matlab (Baguena et al, 2009). Además los datos eran enviados una vez terminada la parcela. Sin embargo, en la campaña 2008 todo el procesado se hizo de forma automática. Los datos, como se ha comentado anteriormente, se recogían en un ordenador táctil situado en la cabina de la vendimiadora. Aquí se iniciaban tres sesiones de MatLab, la primera sesión abría los puertos del DGPS, del data logger y del inclinómetro para recoger los datos, la

segunda abría el interfaz, y la tercera procesaba los datos procedentes de estos tres instrumentos. Este interfaz consistía en una serie de botones donde el operario podía seleccionar la parcela que se estaba vendimiando y el remolque dónde se descargaba, además, con este interfaz los datos eran enviados a la bodega cada vez que se terminaba una descarga, y no al término de la parcela tal y como sucedía en los años previos. Este procedimiento permitía que el personal de la bodega tuviese una información más precisa de lo que se estaba recogiendo en cada momento y pudiese decidir si se continuaba con la vendimia o si se paraba debido a que las condiciones de la uva (azúcares, temperatura) no eran las idóneas según sus criterios.

Debido a que los datos obtenidos del DGPS (latitud, altitud y longitud) aparecían en grados, se elaboró una rutina en MatLab para transformarlos en coordenadas UTM según el datum ED-50 (European Datum) que es el geoide utilizado por el “Instituto Cartográfico de Cataluña” (ICC), del cual se han obtenido las ortofotos necesarias para realizar los mapas de rendimiento y velocidad.

A partir de los datos XUTM-YUTM y a través de una rutina matemática que establece la inversa de la tangente del desplazamiento, se consiguió identificar las líneas de cultivo, de manera que resulta viable identificar los periodos en los que la máquina está dentro de la línea de cultivo (tiempo efectivo, TE) y aquellos en los que la máquina está girando, descargando o parada (tiempos accesorios, TA). Toda esta información permite calcular el rendimiento efectivo o de campo de la vendimiadora ($TE / (TE+AT) \cdot 100$, 0-100).

En el caso de los datos de peso, la señal del peso se filtró con el fin de eliminar el ruido provocado por las vibraciones de la máquina cuando ésta estaba en movimiento. Se utilizó un filtro digital unidimensional que elimina las altas frecuencias relacionadas con el ruido.

Para establecer el peso en cada una de las tolvas se utilizaron dos procedimientos distintos. El primero consiste en la determinación del caudal másico instantáneo se por medio de una regresión lineal de la señal peso-tiempo utilizando una ventana definida por el usuario, y que se fijó en 5 datos. El segundo consistía en determinar la tara para cada descarga y el peso máximo anterior a cada una de dichas descargas, calculando posteriormente la diferencia entre ambos valores. En el primer caso, el peso total de las tolvas (kg) se obtuvo a partir de la integral de los caudales másicos instantáneos para cada periodo entre descargas. El valor de la tara de las tolvas se calculó tomando los datos de peso medio entre el último punto de cada descarga y una amplitud de tiempo estimada antes de la siguiente descarga.

El primer procedimiento explicado permite realizar los mapas de rendimiento, mientras que con el segundo se estima el valor final para cada descarga de las tolvas con la ventaja de eliminar las variaciones incontroladas que suceden en el caso de utilizar el primer procedimiento de cálculo.

El rendimiento instantáneo (kg/m) se calculó como el cociente entre el caudal instantáneo (kg/s) y la velocidad instantánea filtrada (m/s).

2.2. Mapas de rendimiento y velocidad

Una vez que los datos fueron procesados y se obtuvieron las coordenadas UTM, se pudieron realizar los mapas de rendimiento. El procedimiento fue el siguiente: lo primero que se hizo fue introducir las coordenadas UTM obtenidas para cada parcela en la página web del ICC con el fin de obtener la ortofoto de dichas parcelas. Una vez descargada la ortofoto, ésta era cargada en ArcGis y sobre ella se iban creando las distintas capas de rendimiento (kg/m) y velocidad de la máquina (km/h).

3. Resultados y discusión

3.1. Análisis de la productividad superficial por parcela

La Tabla 1 muestra la relación de parcelas de las que se dispone de datos para las tres campañas, así como cuántas de estas parcelas pudieron ser procesadas y analizadas.

Tabla 1. Resumen de las parcelas recogidas en las campañas 2006, 2007 y 2008.

Campaña	Parcelas con datos	Parcelas procesadas
2006	22	5
2007	69	34
2008	86	48

La Figura 1 muestra la comparación de los pesos de los talones (eje x) frente a los de la vendimiadora (eje y). En los datos de la campaña 2007 se observa un error del 1,2%, es decir 12 kg por cada 1.000 kg (para un fondo de escala de 45.000 kg y datos de 34 parcelas). Para el análisis de los datos de la campaña 2008 se mejoraron una serie de rutinas, como la de identificación de las líneas de cultivo y el cálculo de los pesos (por medio del cálculo de las taras, comentado con anterioridad en este estudio). Así pues, en 2008 se observa un error del 0,15%, es decir 1,5 kg por cada 1.000 kg para un rango de 55.000 kg y datos de 34 parcelas. En esta última campaña se observa una pendiente de 0,9133 (8,67% de subestimación de peso). Así pues, si se comparan los datos de las dos campañas, el error se ha reducido un 87%.

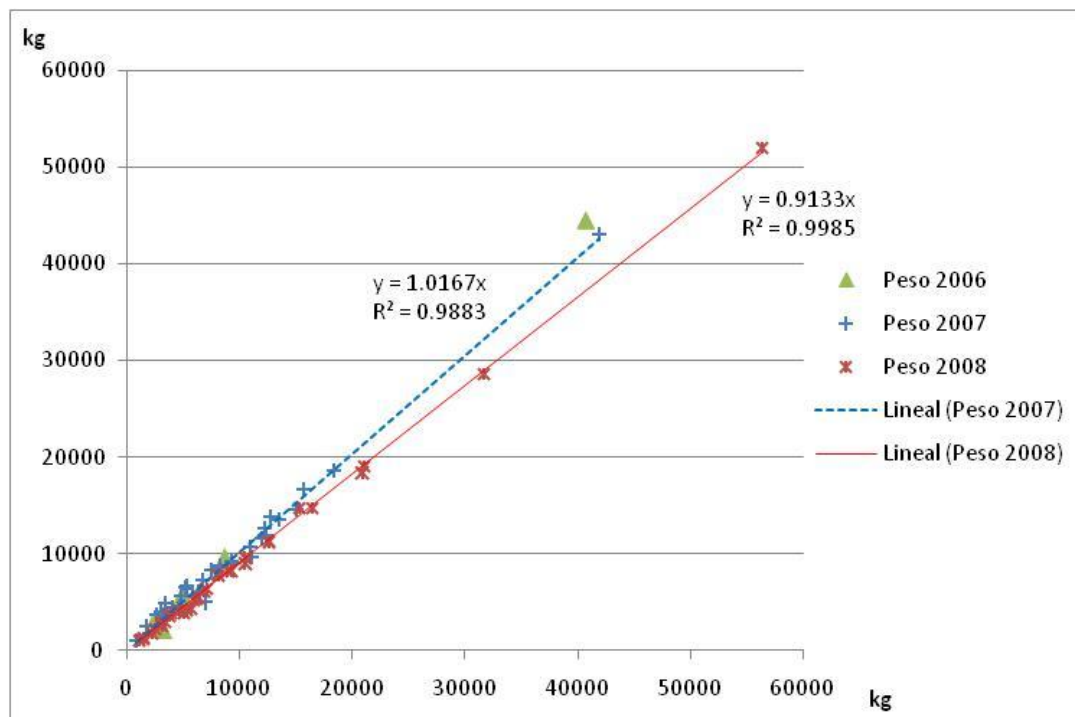


Figura 1. Comparación de pesos entre las campañas 2006, 2007 y 2008.

La Figura 2 muestra el histograma de las taras para 217 descargas de las 34 parcelas procesadas. En la mayor parte de los casos la tara se sitúa en torno a 200 kg, sin embargo se observan valores extremos entre 100 y 300 kg. Este rango de valores tan amplio debería reducirse a ± 50 kg para mejorar la precisión del sistema de pesado.

Es importante señalar, que en cualquier caso sería necesario establecer un sistema de autotara cuando la máquina esté trabajando, para conseguir así, mejorar los resultados presentes.

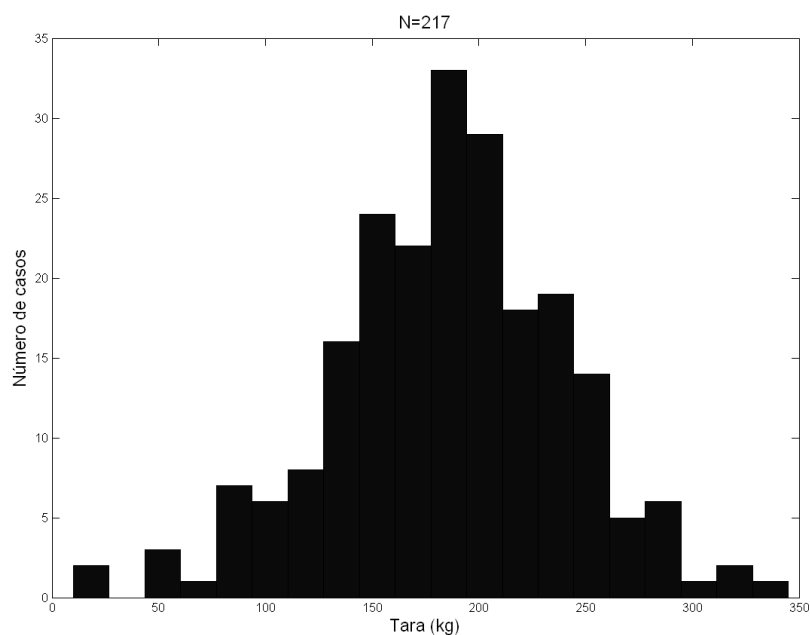


Figura 2. Histograma de taras para 217 descargas de la campaña 2008.

La Figura 3 muestra el error de pesado en porcentaje para cada parcela procesada en la campaña 2008. Se puede observar que a medida que incrementa el peso recogido en cada parcela, el error disminuye. Así, para parcelas con una producción inferior a 10.000 kg el error puede llegar hasta $\pm 15\%$, pero cuándo la producción se sitúa por encima de los 20.000 kg el error está siempre en un rango de $\pm 5\%$. Además, también se observa una distribución uniforme a lo largo de los ejes. El sistema se considerará optimizado cuando el error en todos los casos sea inferior al $\pm 5\%$.

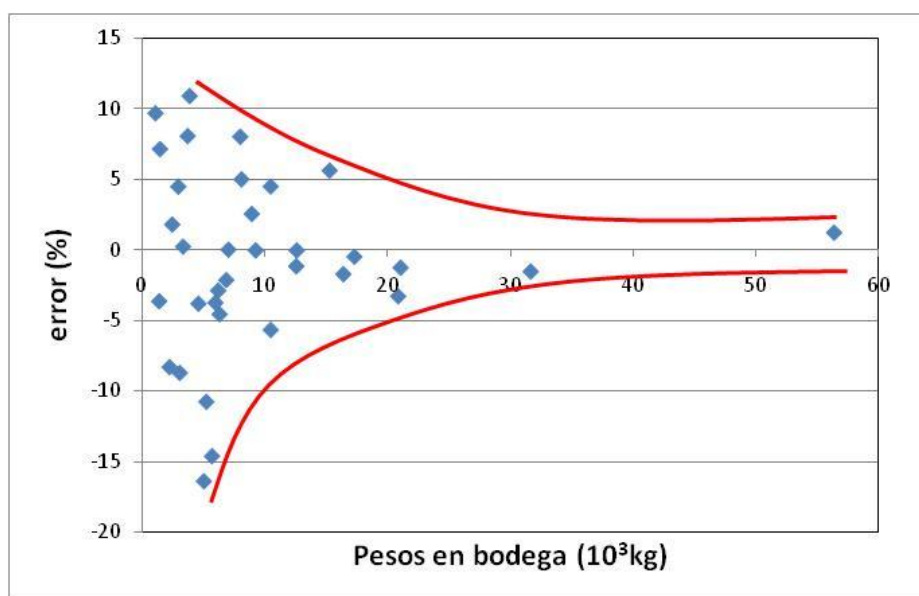


Figura 3. Error de pesado, en porcentaje, para las parcelas procesadas en 2008.

3.2. Influencia de la inclinación en el sistema de pesado

Durante el análisis de datos de la campaña 2007, se observó que la inclinación de la máquina podía tener cierta influencia en el establecimiento del peso de la tolva. Por ello, en la campaña 2008 se instaló un inclinómetro de alta precisión que permitiera cuantificar esta influencia. El inclinómetro instalado proporcionó tres medidas de inclinación: transversal, longitudinal y cabeceo, con una precisión de $\pm 0,1^\circ$.

En un primer análisis de los datos obtenidos del inclinómetro, se ha podido observar que efectivamente existe una relación entre las distintas inclinaciones de la máquina y el peso. En la Figura 4 se observa que cuando se produce una inclinación transversal de la máquina hacia la izquierda, el peso1 incrementa mientras que el peso2 disminuye, si bien es cierto que ambos pesos quedarían prácticamente compensados, es decir, el efecto de la inclinación transversal se compensa automáticamente debido al efecto opuesto que genera en ambas tolvas, y por tanto el cómputo total del peso apenas varía.

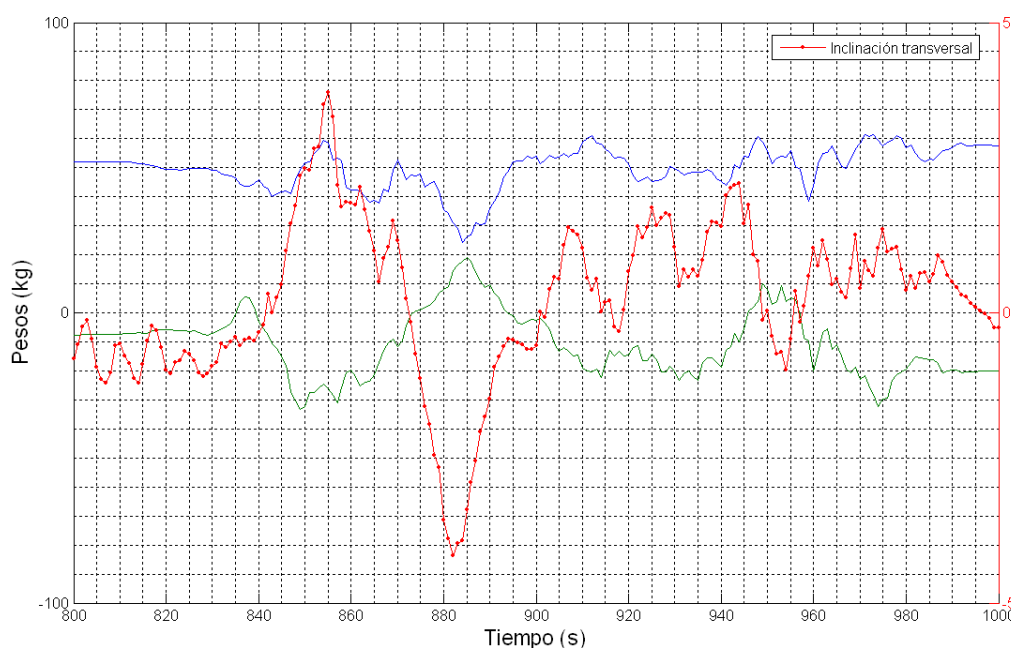


Figura 4. Relación de la inclinación transversal de la vendimiadora con los pesos de las dos células de carga, en 2008.

Por otro lado, al estudiar las parcelas con inclinación longitudinal se observó que había una variabilidad apreciable en el valor de las taras para cada descarga dentro de una misma parcela, lo que lleva a señalar de nuevo la necesidad de establecer un procedimiento de autotara, así como de corrección de la inclinación longitudinal.

3.3. Análisis de los datos de rendimiento. Ortomapas

La Figura 5 muestra el mapa de rendimiento de una de las parcelas recolectadas en la campaña 2008. Los datos fueron divididos en 11 categorías para diferenciar el rendimiento a lo largo de la parcela.

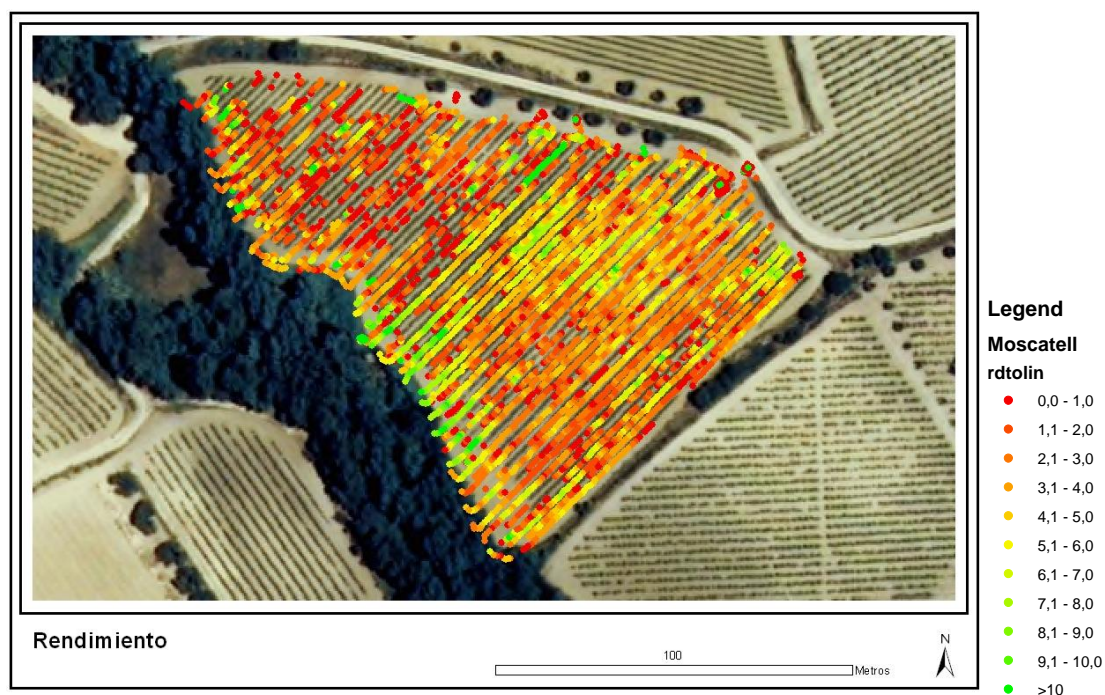


Figura 5. Mapa de rendimiento de una parcela recogida en la campaña 2008.

3.4. Análisis de los datos de azúcares

A lo largo de las tres campañas en estudio, el sistema de medida de azúcares mostró varias incidencias: problemas de cebado de la bomba, problemas mecánicos con el motor que accionaba el tornillo sinfín o incluso rotura del propio refractómetro. Por ello, no se dispone de datos de sólidos solubles en muchas de las parcelas, si bien es cierto, que cada año se fue mejorando el sistema para ir solventando las incidencias ocurridas en los anteriores.

Dado que los datos de SSC obtenidos en la campaña 2007 no fueron numerosos, no se pudo realizar una comparación de las parcelas frente a los talones de la bodega. Sin embargo, sí se pudo observar la diferencia de en SSC que existía entre las diferentes variedades. La Figura 6a muestra el contenido en sólidos solubles totales de la variedad moscatel (más dulce y representada en negro) frente a la variedad parellada (menos dulce que la anterior, y representada en gris). Los valores más altos

de la variedad parellada (16,2 Brix) se deben a que todavía quedaba en el sistema de medida mosto de la parcela de moscatel.

Los datos de la campaña 2008 permiten hacer una primera aproximación a la comparación de los datos de azúcares obtenidos en la vendimiadora frente a los de los talones de la bodega. Con las 7 parcelas de las que se obtuvieron datos fiables, se puede observar en la Figura 6b un error 5,23%. Este error todavía es alto para la precisión que debe existir en esta medida ($\pm 0,2$ Brix), por lo que en trabajos futuros se debería mejorar el sistema de medida. También es importante remarcar que los datos tomados en la vendimiadora muestran una variabilidad espacial que actualmente no es considerada en la bodega, y que puede resultar de gran utilidad en toma de decisiones.

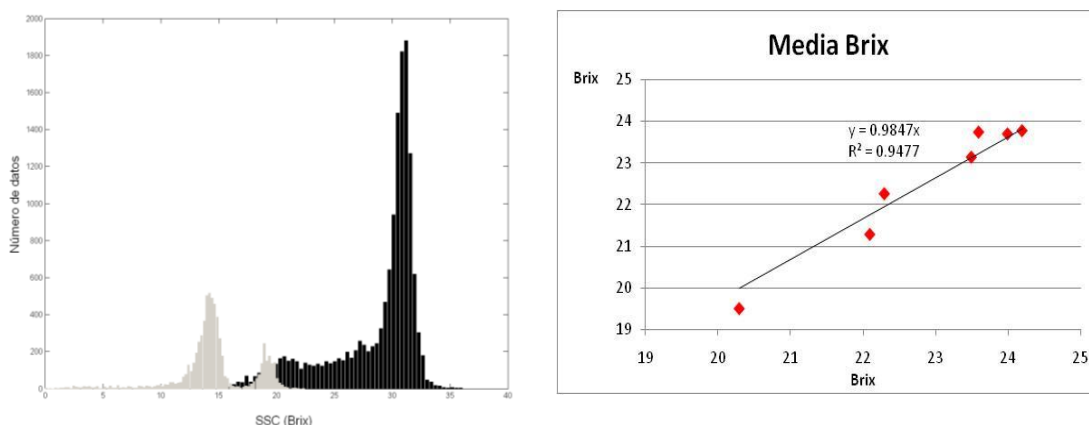


Figura 6. a) Contenido en sólidos solubles de dos variedades distintas en la campaña 2007. b) Comparación del contenido en sólidos solubles en bodega y en la vendimiadora en la campaña 2008.

4. Conclusiones

En las campañas de vendimia que se presentan en este estudio (con 5, 22, 69 y 86 parcelas cada una) ha habido una optimización, año tras año, del procesado automático de datos en campo con una mejora significativa de todas las rutinas, así como la inclusión del envío automático a la bodega mediante un interfaz especialmente diseñado para ello. El sistema de pesado de la máquina es muy robusto lo que ha permitido que se recojan más datos cada año, si bien es cierto, tal y como se ha visto en este estudio, que sería necesario realizar una autotara en campo para ir ajustando los pesos en cada descarga. La incorporación del inclinómetro de alta precisión ha permitido establecer la existencia de una relación significativa entre las inclinaciones de la máquina y los pesos, que habrá de ser empleada en futuras mejoras del sistema. La determinación de los sólidos solubles totales depende

principalmente del buen funcionamiento en el trasiego de líquidos, por lo que para llegar a un mejor ajuste debería optimizarse el sistema.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado bajo el marco de los siguientes proyectos: PETRI PTR-95-0895-OP “Integración de sensores de calidad de la uva en un monitor de rendimiento para vendimiadoras”, TAGRALIA P-AGR-000187-0505 (fundado por el Gobierno de la Comunidad de Madrid) y el proyecto de colaboración P070240675 entre la Universidad Politécnica de Madrid y Bodegas Miguel Torres, S.A.

Referencias

- A. Hall, D.W. Lamb, B. Holzapfel, J. Louis. 2002. Optical remote sensing applications in viticulture-a review. Australian Journal of Grape and Wine Research, Vol. (8), 36-47.
- A. Hall, J. Louis, D. Lamb. 2003. Characterising and mapping vineyard canopy using high-spatial-resolution aerial multispectral images. Computers & Geosciences, Vol. (9), 813-822.
- B. Sethuramasamyraja, S. Sachidhanantham, M. Yen, R. Wample. 2007. Interpolation of wine grape quality indicators (Anthocyanin and Brix) and development of differential harvest attachment. ASABE Annual International Meeting. 2007.
- E. Baguena, P. Barreiro, C. Valero. 2009. On-the-go yield and sugar sensing in grape harvester. 7th European conference on Precision Agriculture, July 06-08, 2009. Wageningen, The Netherlands.
- F.J. Pierce, P. Nowak. 1999. Aspects of precision agriculture. Advances in Agronomy, Vol. (67), 1-85.
- J. Arnó, X. Bordes, M. Ribes-Dasi, R. Blanco, J.R. Rosell, J. Esteve. 2005. Obtaining grape yield maps and analysis of within-field variability in Raimat (Spain). 5th European Conference on Precision Agriculture, June 09-12, 2005. Uppsala, Sweden.
- R.G.V. Bramley, R.P. Hamilton. 2004. Understanding variability in Winegrape production systems. 1. Within vineyard variation in yield over several vintages. Australian Journal of Grape and Wine Research, Vol. (10), 33-45.